



## Pengaruh Penambahan Butanol Pada Bahan Bakar Solar Terhadap Karakteristik Pembakaran Single Droplet

Brahmantyo Luqman Sayoko<sup>1</sup>, Radissa Dzaky Issafira<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Pembangunan Nasional "Veteran" Jawa Timur

<sup>1</sup>bramluqman8@gmail.com <sup>2</sup>radissa.d.tm@upnjatim.ac.id

### Abstract

Dependence on fossil fuels is one of the most serious threats to the global environment. In addition, petroleum reserves are also decreasing. Meanwhile, the level of oil consumption is always increasing to meet the demand for fuel. Economical and sustainable alternative energy solutions are essential to meet the growing global energy demand without compromising environmental sustainability. One type of alternative fuel that shows very promising potential is biofuel, especially biodiesel. Biodiesel has potential as a more environmentally friendly alternative to diesel fuel, but its low combustion rate and higher viscosity compared to conventional diesel fuel present technical challenges that need to be overcome. The different chemical properties of butanol from biodiesel allow it to have a positive impact on combustion characteristics, such as viscosity, flash point, heating value, and combustion rate. The combustion characteristics that will be studied in this research using single droplet combustion testing include droplet visualization to measure the dimensions of the flame, temperature during the combustion process recorded by a thermocouple, data logger, and video recording during the combustion process to obtain information regarding the ignition delay value. The test steps were repeated five times for each fuel variation and then averaged. In this study, the samples tested included pure diesel, diesel blend with 10% butanol, diesel blend with 20% butanol, diesel blend with 30% butanol, diesel blend with 40% butanol and diesel blend with 50% butanol. From this study, the visualization of the flame is obtained, where the combustion of pure diesel oil droplets has a higher and wider flame, while the flame of the butanol diesel mixture produces a flame whose maximum height is lower than pure diesel oil. The ignition delay time of pure diesel oil is greater than the ignition delay time of the diesel butanol blend. In addition, the maximum combustion temperature produced by each blend is different.

Keywords: butanol, combustion, diesel oil, droplet, fuel

### Abstrak

Ketergantungan terhadap bahan bakar fosil merupakan salah satu ancaman serius dalam menghadapi masalah lingkungan global. Selain itu, cadangan minyak bumi juga semakin berkurang. Sementara itu tingkat konsumsi minyak selalu mengalami kenaikan untuk memenuhi akan kebutuhan bahan bakar. Salah satu jenis bahan bakar alternatif yang menunjukkan potensi yang sangat menjanjikan adalah *biofuel*, terutama *biodiesel*. *Biodiesel* memiliki potensi sebagai alternatif bahan bakar diesel yang lebih ramah lingkungan, namun laju pembakarannya yang rendah dan viskositasnya yang lebih tinggi dibandingkan dengan bahan bakar diesel konvensional menghadirkan tantangan teknis yang perlu diatasi. Sifat kimia butanol yang berbeda dari biodiesel memungkinkannya untuk memberikan dampak positif pada karakteristik pembakaran, seperti viskositas, titik nyala, nilai kalor, dan laju pembakaran. Karakteristik pembakaran yang akan dipelajari pada penelitian menggunakan pengujian pembakaran single droplet ini mencakup visualisasi droplet untuk mengukur ukuran dimensi nyala api, temperatur selama proses pembakaran yang terekam oleh *thermocouple*, data *logger*, serta rekaman video selama proses pembakaran untuk mendapatkan informasi mengenai nilai ignition delay. Langkah pengujian diulang lima kali untuk setiap variasi bahan bakar kemudian dirata-rata. Pada penelitian ini, sampel yang diuji antara lain yaitu Solar murni, Campuran Solar dengan butanol 10%, Campuran solar dengan butanol 20%, Campuran solar dengan butanol 30%, Campuran solar dengan butanol 40% dan Campuran solar dengan butanol 50%. Dari penelitian ini didapatkan visualisasi nyala api, dimana pembakaran droplet minyak solar murni memiliki nyala api yang lebih tinggi dan lebih lebar, sedangkan nyala api dari campuran solar butanol menghasilkan nyala api yang tinggi maksimumnya lebih rendah dari minyak solar murni. Ignition delay time dari minyak solar murni lebih besar dibandingkan dengan ignition delay time dari campuran solar butanol. Selain itu, temperatur maksimum hasil pembakaran yang dihasilkan oleh setiap campuran berbeda-beda.

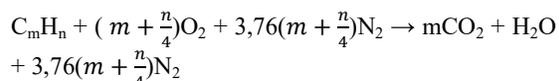
Kata kunci: pembakaran, bahan bakar, butanol, droplet, pembakaran, solar

## 1. Pendahuluan

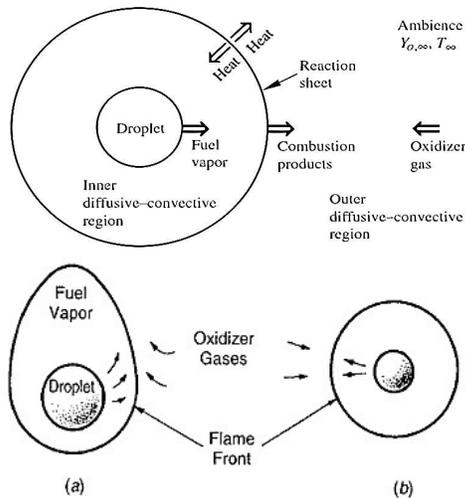
Kebutuhan untuk sumber energi yang berkelanjutan dan mengatasi lingkungan semakin mendesak dalam menghadapi masalah lingkungan global dan ketergantungan tinggi terhadap bahan bakar fosil. Di Indonesia, terjadi penurunan sebesar 10% setiap tahun dalam cadangan dan produksi bahan bakar minyak bumi (fosil), sementara tingkat konsumsi rata-rata minyak mengalami kenaikan sebesar 6% per tahun. Tantangan yang dihadapi Indonesia saat ini adalah ketidakmampuan produksi bahan bakar minyak bumi untuk mengimbangi permintaan yang terus tumbuh [1], sehingga negara ini terpaksa mengimpor minyak untuk memenuhi kebutuhan energi bahan bakar minyak (BBM). Situasi ini disebabkan oleh kurangnya perkembangan dalam produksi pengolahan minyak dan tidak adanya penemuan sumur minyak baru [2].

Kebutuhan energi global terus tumbuh, dan pendekatan paling ekonomis untuk mengatasi permintaan yang terus bertambah dengan menggunakan sumber bahan bakar alternatif [3]. Salah satu jenis bahan bakar alternatif yang menunjukkan potensi sangat menjanjikan adalah *biofuel*, terutama biodiesel. Di negara-negara maju, ada tren yang berkembang pesat dalam mengadopsi teknologi modern dan bioenergi yang efisien sebagai alternatif bahan bakar. Saat ini, berbagai jenis *biofuel* sedang mengalami peningkatan dalam daya saingnya secara ekonomis dengan bahan bakar fosil [4]. Salah satu jenis biodiesel adalah campuran solar dan minyak jarak yang menghasilkan gas lebih ramah lingkungan dibandingkan solar, minyak jarak tidak termasuk dalam bahan-bahan untuk dikonsumsi, merupakan sebuah potensi sebagai bahan bakar alternatif [5]. Biodiesel dapat digunakan secara murni maupun dicampur dengan petrodiesel tanpa menyebabkan modifikasi pada mesin yang menggunakan bahan bakar tersebut [6]. Bahan bakar biodiesel memiliki tantangan dalam penggunaannya, salah satu tantangan utama adalah laju pembakaran yang rendah dan sifat viskositas yang lebih tinggi dibandingkan dengan bahan bakar diesel konvensional [7]. Penambahan alkohol dalam kadar yang cukup tinggi dapat menurunkan performa mesin karena rendahnya nilai kalor dalam alkohol [8]. Untuk mengatasi masalah ini, penelitian telah dilakukan untuk meningkatkan karakteristik pembakaran biodiesel dengan melakukan penambahan bahan aditif [9]. Salah satu aditif yang menarik perhatian adalah butanol, yang memiliki potensi untuk meningkatkan kualitas pembakaran biodiesel. Butanol dengan sifat kimia yang berbeda dari biodiesel, dapat mempengaruhi sifat-sifat pembakaran, seperti viskositas, titik nyala, nilai kalor dan laju pembakaran [8]. Penelitian tentang karakteristik pembakaran droplet biodiesel dengan penambahan alkohol terutama butanol dan biobutanol masih terbatas. Sehingga penelitian kali ini akan berfokus pada efek campuran butanol terhadap karakteristik pembakaran droplet biodiesel.

Pembakaran merupakan reaksi kimia antar komponen suatu bahan bakar (karbon dan hidrogen) dengan komponen udara (oksigen) terjadi sangat cepat, memerlukan suhu awal untuk menghasilkan lebih banyak panas, sehingga meningkatkan suhu dan tekanan gas pembakaran. Elemen yang mudah terbakar ini zat utamanya adalah karbon dan oksigen. Reaksi tersebut membutuhkan oksigen karena pembakaran diperoleh dari udara yang merupakan campuran oksigen dan nitrogen [10]. reaksi stoikiometri pembakaran untuk hidrokarbon murni  $C_mH_n$  dapat ditunjukkan dalam persamaan seperti berikut.



Reaksi pembakaran merupakan reaksi kimia bahan bakar dan oksigen yang diperoleh dari udara yang akan menghasilkan panas dan gas pembakaran akan berlangsung sangat cepat [11]. Reaksi pembakaran akan menghasilkan produk pembakaran sebanyak yang komposisinya bergantung pada kualitas proses pembakaran yang terjadi [2]. Fragmentasi bahan bakar yang disemprotkan menjadi tetesan juga dipengaruhi oleh sifat bahan bakar tersebut. Bahan bakar cair lebih sulit dibakar dibandingkan bahan bakar gas alam karena bahan bakar cair harus diubah terlebih dahulu menjadi gas sebelum dapat bereaksi dengan oksigen (udara). Bahan bakar cair yang kental (sangat kental) terlebih dahulu harus dipanaskan untuk menurunkan kekentalannya guna memudahkan atomisasi menjadi partikel-partikel kecil (kabut) bahan bakar untuk penguapan dan pencampuran dengan bahan bakar. udara mengalir lebih cepat untuk mencapai pembakaran sempurna [12]. Pada dasarnya jenis api yang terjadi pada pembakaran bahan bakar cair tidak jauh berbeda dengan jenis pembakarannya. Sifatnya sangat bergantung pada kondisi penyemprotan, kekuatan campuran dan volatilitas (volatilitas) bahan bakar. Jika kepadatan tetesan (pelet bahan bakar) rendah, tingkat pencampuran tinggi, dan volatilitas rendah, tetesan bahan bakar akan terbakar satu per satu. Jika kepadatan tetesan tinggi, derajat pencampuran rendah, dan penguapan tinggi, nyala api akan terbentuk di luar nosel-. Akibat proses pembakaran hal ini terlihat pada sifat fisik yang umum diterapkan terutama pada proses pembakaran semprot. Untuk mencapai karakteristik pembakaran susunan tetesan terkecil pembakaran [13]. Berikut ini merupakan gambar model api difusi pada pembakaran droplet.



Gambar 1. Model nyala api

Umumnya, bentuk nyala api yang tidak bulat disebabkan oleh konveksi yang timbul akibat pergerakan relatif antara gas dan droplet di sekitarnya. Ketika droplet semakin kecil, droplet akan terjebak oleh gas yang mengelilinginya dan kecepatan relatif antara gas dan droplet menjadi sangat rendah. Hal ini mengakibatkan nyala api dari droplet dapat mendekati bentuk bola (*spherical*) [14]. Karakteristik pembakaran merupakan faktor-faktor yang ditafsirkan dan diamati dalam kajian proses pembakaran, yang kemudian dibandingkan antara karakteristik bahan bakar tersebut dengan bahan bakar lainnya. Parameter api yang diamati pada penelitian ini adalah:

1. *Ignition delay* merujuk pada selang waktu antara saat bahan bakar disemprotkan ke dalam ruang bakar dan saat bahan bakar tersebut mulai terbakar. (Dalam konteks pembakaran tetesan (droplet), *ignition delay* mengacu pada interval waktu antara pemanasan awal bahan bakar hingga munculnya nyala api yang menandakan dimulainya pembakaran. Secara fisik, seperti atomisasi dan evaporasi bahan bakar, molekul bermuatan disebut ion. Secara kimia, seperti pemanasan bahan bakar, molekul bermuatan disebut radikal bebas. Radikal bebas sangat mudah bereaksi karena ketidakstabilan muatannya, yang memungkinkan reaksi pembakaran terjadi. Tingkat penguapan bahan bakar menentukan kecepatan pembakaran; semakin cepat bahan bakar menguap, semakin cepat pembakaran terjadi.

2. Temperatur pembakaran merujuk pada suhu maksimum yang diukur di pusat tetesan cairan selama proses pembakaran. Suhu ini dipengaruhi oleh nilai kalor bahan bakar, yang merupakan total energi panas yang dilepaskan saat terjadi oksidasi unsur-unsur kimia dalam bahan bakar tersebut. Dengan kata lain, semakin tinggi temperatur pembakaran, semakin banyak energi yang dikonversi menjadi panas. 3. Dimensi api berperan dalam penentuan secara kasat mata apakah pembakaran yang terjadi nantinya merupakan pembakaran dengan reaksi yang cepat atau

lambat. Apabila reaksi bahan bakar untuk terbakar semakin cepat, maka dimensi api akan semakin kecil dan begitu juga sebaliknya, jika reaksi pembakaran lambat, maka api cenderung semakin panjang dan lebar. Hal tersebut dikarenakan semakin lama reaksi pembakaran maka semakin lama pula waktu yang diperlukan oleh bahan bakar untuk dapat beroksidasi dan terbakar. Proses pembakaran yang cepat dapat membuat tinggi api yang di dihasilkan semakin kecil. Ini dikarenakan panjang api berbanding terbalik dengan difusitas molecular [6]. Karakteristik nyala api dapat dipengaruhi oleh faktor fisik dan kimia. Faktor fisik melibatkan variabel seperti suhu dan tekanan, sementara faktor kimia melibatkan variabel seperti rasio campuran, penambahan aditif, dan struktur hidrokarbon. Komposisi campuran sangat signifikan dalam memengaruhi kecepatan pembakaran yang berkaitan dengan sifat nyala api yang dihasilkan [15].

Syarat utama proses pembakaran adalah tersedianya bahan bakar yang dapat bercampur dengan baik dengan udara dan mencapai suhu pembakaran. Bahan bakar yang digunakan oleh dapat diklasifikasikan menjadi tiga kelompok: bahan bakar cair, gas, dan bahan bakar padat. Bahan bakar cair berasal dari minyak bumi, pada kelompok ini terdapat bensin dan bahan bakar minyak solar, disusul minyak tanah dan bahan bakar padat [16]. Solar yang merupakan bahan bakar yang dihasilkan dari proses pengolahan minyak bumi di kilang minyak, dipisahkan berdasarkan titik didihnya, menciptakan berbagai jenis bahan bakar. Salah satu hasil dari pengolahan minyak bumi adalah minyak solar atau *high-speed diesel* (HSD), yang merupakan produk hasil penyulingan minyak bumi [17].

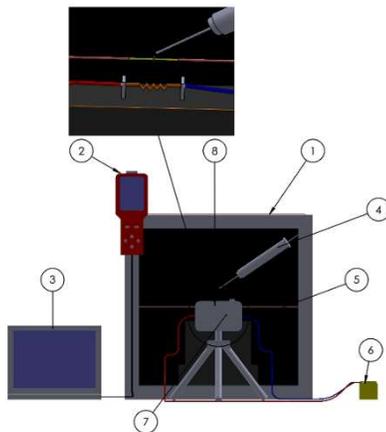
Butanol adalah alkohol dengan empat gugus karbon, yang juga dikenal sebagai alkohol butil. Molekulnya memiliki rumus  $C_4H_9OH$  dan berat molekul 74,12. Butanol berwujud cairan tak berwarna dengan bau khas dan digunakan sebagai pelarut dan bahan bakar [18]. Saat digunakan sebagai bahan bakar, butanol memiliki beberapa keunggulan, seperti tidak bersifat korosif, kurang menyerap air (kurang higroskopis), dan tekanan uap yang lebih rendah [19]. Pengembangan berkelanjutan dilakukan untuk meningkatkan performa bahan bakar biodiesel [9]. Penambahan butanol ke biodiesel dapat mengubah karakteristik pembakaran droplet dan menghasilkan hasil yang lebih baik dalam hal efisiensi pembakaran dengan mengamati temperatur pembakaran dari bahan bakar dan waktu jeda pembakaran ketika bahan bakar dipanaskan hingga menjadi nyala api. Penelitian ini menggunakan metode pengambilan data bertahap untuk eksperimen pembakaran *single droplet*. Penelitian ini bertujuan untuk melihat pengaruh pembakaran droplet biodiesel dengan penambahan butanol, nilai *ignition delay*, temperatur nyala api, dan juga visualisasi dari api dari setiap variasi persentase penambahan butanol pada bahan bakar solar. Parameter yang diukur tersebut digunakan sebagai

analisa untuk mengetahui pengaruh butanol yang dicampur dengan bahan bakar solar.

## 2. Metode Penelitian

Lokasi pelaksanaan penelitian dilakukan di Laboratorium Konversi Energi Universitas Pembangunan Nasional "Veteran" Jawa Timur.

Skema rangkaian alat yang digunakan pada penelitian ini yaitu sebagai dapat dilihat pada Gambar 2.



Gambar 2. Skema Alat Penelitian

Keterangan Alat:

1. Ruang Bakar
2. Data Logger TASI-612C
3. Laptop
4. Microsyringe 10 $\mu$ L
5. Coil Heater Ni-Cr
6. Transformator 12V
7. Camera
8. Thermocouple

Variabel bebas yang digunakan pada penelitian ini adalah persentase penambahan butanol pada bahan bakar biodiesel. Pada penelitian ini, variabel bebas yang digunakan antara lain yaitu Solar murni, Campuran Solar dengan butanol 10%, Campuran solar dengan butanol 20%, Campuran solar dengan butanol 30%, Campuran solar dengan butanol 40% dan Campuran solar dengan butanol 50%. Variabel terikat yaitu parameter yang ingin diukur atau diamati dalam rangka memahami bagaimana perubahan dalam variabel bebas memengaruhi atau berhubungan dengan hasil tertentu dalam suatu penelitian atau eksperimen. Variabel terikat yang terdapat pada penelitian ini yaitu *ignition delay*, temperatur api, dan visualisasi dari nyala api. Variabel terikat berikutnya yaitu *Flash Point* atau titik nyala dari campuran bahan bakar solar dengan butanol dengan menggunakan metode pengukuran hasil rekaman thermocouple yang dimasukkan ke dalam data logger. Kondisi Tetap/Variabel terkontrol adalah variabel dalam suatu penelitian yang sengaja dijaga agar nilainya tetap atau konsisten selama penelitian dilaksanakan. Variabel

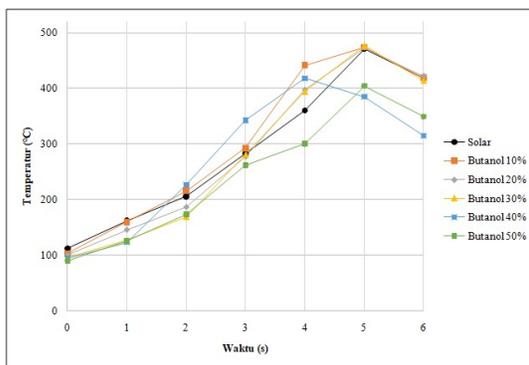
kontrol yang digunakan pada penelitian ini yaitu tekanan udara 1 atm, suhu ruangan yaitu  $32^{\circ} \pm 2^{\circ}\text{C}$ , hasil pencampuran butanol pada bahan bakar dianggap tercampur sempurna, tegangan dari transformator sebesar 12V, dan ukuran droplet dijaga 2 mm dengan toleransi 0,1 mm. Bahan yang digunakan pada penelitian pembakaran single droplet ini yaitu bahan bakar jenis Solar dari Stasiun Pengisian Bahan Bakar Umum (SPBU) Pertamina dan Butanol. Minyak solar merupakan campuran senyawa hidrokarbon (C15 – C18 ) dan mempunyai kisaran titik didih dari 315oC sampai dengan 375oC dan dihasilkan dari distilasi minyak bumi/hasil proses konversi untuk meningkatkan kualitas dan kuantitas minyak solar. Saat ini di Indonesia, ada dua jenis bahan bakar minyak surya yaitu Minyak Solar 48 dan Minyak Solar 51. Kedua jenis BBM ini berbeda dalam hal titik nyala, distilasi, kandungan sulfur, sifat lubrisitas dan poliaromatik hidrokarbon. Untuk spesifikasi Biosolar, mengarah pada spesifikasi minyak Solar 48 dan mengandung FAME (Fatty Acid Methyl Ester).

Metode pengambilan data pada penelitian ini terdiri dari beberapa tahapan. Tahap pertama yaitu melakukan pemasangan alat sebagai skema penelitian yang terdiri dari Ruang Bakar berbentuk kubus, Thermocouple Type-K, Laptop, Microsyringe berukuran 10 $\mu$ L untuk pembentuk droplet, Coil Nicrome sebagai pemanas, Transformator dengan tegangan 12V menghasilkan suhu 500 $^{\circ}\text{C}$ , Camera untuk menangkap visualisasi nyala api. Tahap kedua yaitu mencampurkan butanol dengan solar sesuai dengan persentase yang akan ditentukan untuk diuji. Tahap selanjutnya adalah melakukan pengujian pembakaran droplet, langkah pertama yang dilakukan adalah mengambil campuran bahan bakar menggunakan microsyringe dengan ukuran 10 $\mu$ L sebagai alat pembuat droplet sebesar  $2\text{mm} \pm 0,1\text{ mm}$ , kemudian diletakkan/ditetesakan pada junction thermocouple, menekan saklar pada transformator untuk memanaskan koil yang ada di bawah thermocouple. Menekan tombol play pada kamera untuk record/merekam proses pembakaran pada tampilan 60 fps dan tombol start pada data logger software yang telah terhubung pada laptop, kemudian jika nyala api sudah terbentuk maka langkah selanjutnya adalah mematikan saklar transformator, kemudian menekan tombol stop pada camera dan stop data logger. Setelah itu, simpan data temperatur ke dalam format file excel. Setelah suhu dari dari thermocouple kembali pada suhu ruangan yaitu 32 $^{\circ}\text{C}$ , selanjutnya langkah yang sama dilakukan untuk masing-masing pengambilan data dari setiap variasi bahan bakar. Setiap satu jenis bahan bakar diuji sebanyak lima kali percobaan.

## 3. Hasil dan Pembahasan

Gambar 3. menunjukkan hubungan antara temperatur droplet selama periode pembakaran dan persentase

campuran solar dengan butanol. Data yang didapatkan dari grafik tersebut merupakan rekaman dari thermocouple setiap detik selama bahan bakar dipanaskan sampai menjadi nyala api hingga padam. Dari gambar tersebut terlihat bahwa terdapat kecenderungan kenaikan temperatur droplet selama periode pemanasan hingga pembakaran droplet. Hal ini menunjukkan bahwa temperatur droplet meningkat seiring waktu karena adanya peningkatan laju konsumsi bahan bakar, sebaliknya di awal pembakaran peningkatan temperatur tidak terlalu signifikan karena pada tahap ini laju penguapan bahan bakar lebih signifikan dibandingkan laju konsumsi bahan bakar. Adapun hubungan antara temperatur pembakaran dengan persentase campuran solar butanol ditunjukkan pada gambar di bawah ini.

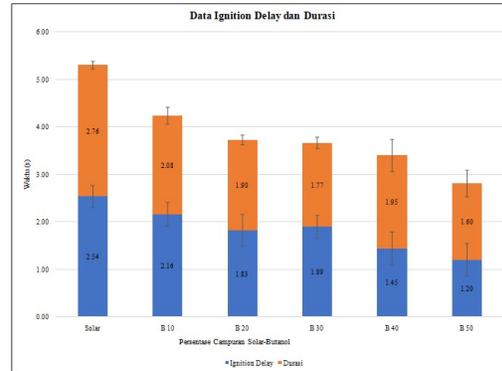


Gambar 3. Grafik hubungan persentase campuran solar butanol terhadap temperatur pembakaran

Grafik 3. juga menunjukkan campuran bahan bakar dengan persentase penambahan butanol semakin banyak menyebabkan temperatur nyala api yang lebih rendah. Hal ini disebabkan karena pengaruh dari butanol yang memiliki nilai viskositas yang lebih rendah dan nilai volatilitas yang lebih tinggi dibandingkan dengan solar. Solar memiliki titik didih sekitar 175°C – 350°C sedangkan titik didih butanol sebesar 118°C. Begitupun nilai viskositas butanol yang lebih rendah sekitar 2.9 mm<sup>2</sup>/s, sedangkan solar 3.5 mm<sup>2</sup>/s. Selain itu nilai flash point dari solar dengan campuran butanol juga lebih rendah dibandingkan dengan solar murni, sehingga droplet lebih mudah untuk terbakar. Pada grafik tersebut juga dapat dilihat bahwa temperatur maksimum hasil pembakaran yang dihasilkan oleh setiap campuran berbeda-beda.

Temperatur maksimum hasil pembakaran tertinggi hingga terendah berturut turut adalah campuran butanol 30%, 10%, 20%, solar murni, campuran butanol 50%, dan 40% dengan besar temperatur masing-masingnya yaitu 477.13°C, 474.15°C, 473.10°C, 471.64°C, 414.15°C, dan 404.32°C. Telah diketahui bahwa nilai kalor butanol yang rendah dapat menurunkan heating value bahan bakar, namun laju pembakaran dengan penambahan alkohol dapat meningkat.

Dalam penelitian ini, pengamatan dilakukan untuk mendapatkan nilai *Ignition Delay Time* dan durasi pembakaran. Sebanyak 5 kali percobaan dilakukan, dan dari hasil tersebut diperoleh rata-rata *Ignition Delay Time* dan Durasi Pembakaran untuk setiap campuran butanol dengan solar, sebagaimana tercantum pada Grafik gambar 4. di bawah. *Ignition delay* merupakan parameter penting dalam pembakaran yang menunjukkan waktu antara pencampuran uap bahan bakar dan udara sampai muncul nyala api.

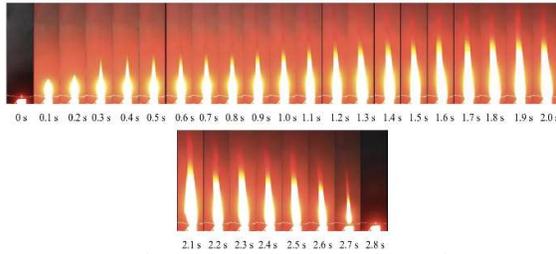


Gambar 4. Grafik hubungan persentase campuran solar butanol terhadap ignition delay dan durasi

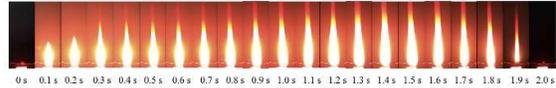
Gambar 4. menunjukkan bahwa solar dengan campuran butanol 10% memiliki ignition delay tertinggi, yaitu 2.16 detik. Diikuti oleh campuran butanol 30% dengan 1.89 detik, campuran butanol 20% dengan 1.83 detik, campuran butanol 40% dengan 1.45 detik, dan campuran butanol 50% dengan 1.20 detik. Solar murni memiliki nilai ignition delay tertinggi, yaitu 2.54 detik. Terlihat bahwa semakin tinggi persentase campuran butanol pada bahan bakar solar, semakin kecil nilai ignition delay yang dihasilkan. Selain itu, Solar murni memiliki *ignition delay* tertinggi dibandingkan dengan bahan bakar solar yang telah dicampur dengan butanol. Hal ini disebabkan oleh *flash point* solar murni yang lebih tinggi dibandingkan dengan campuran bahan bakar solar dengan butanol lainnya, sehingga membutuhkan waktu lebih lama untuk mencapai titik nyala api. *Ignition delay* yang tinggi mengindikasikan pembakaran yang lebih lambat, terlihat dari durasi pembakaran yang juga lebih tinggi dibandingkan dengan campuran solar dengan butanol lainnya.

Pengamatan terhadap visualisasi nyala api digunakan untuk menganalisa karakteristik pembakaran droplet secara kualitatif pada setiap campuran bahan bakar solar dengan butanol. Gambar 5. - Gambar 10. menunjukkan visualisasi nyala api, mulai api terbentuk hingga padam. Proses pembakaran droplet dapat terjadi melalui beberapa tahapan. Pada tahap awal, pemanasan droplet dari heater memicu proses penguapan. Bahan bakar kemudian berdifusi dengan udara di sekitar droplet hingga membentuk fase gas. Proses ini semakin intensif seiring dengan kenaikan

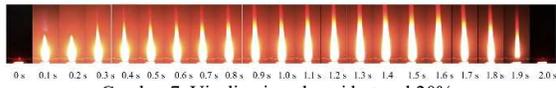
suhu, yang pada akhirnya menghasilkan nyala api dalam rentang *flammability limit*.



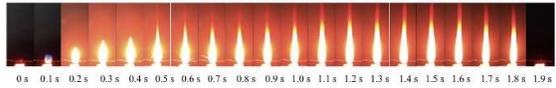
Gambar 5. Visualisasi nyala api solar murni



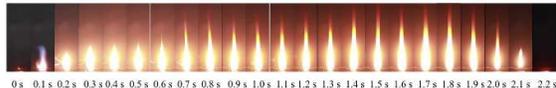
Gambar 6. Visualisasi nyala api butanol 10%



Gambar 7. Visualisasi nyala api butanol 20%



Gambar 8. Visualisasi nyala api butanol 30%



Gambar 9. Visualisasi nyala api butanol 40%



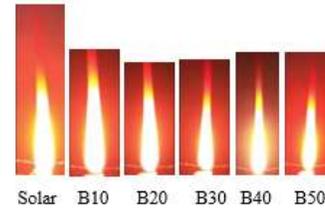
Gambar 10. Visualisasi nyala api butanol 50%

Dimensi api tertinggi dari setiap bahan bakar ditunjukkan pada waktu yang berbeda. Minyak solar memiliki dimensi ketinggian yang lebih tinggi apabila dibandingkan dengan campuran solar butanol dari persentase butanol 10% hingga 50%.

Hal ini sejalan dengan hasil analisa sebelumnya pada hasil *ignition delay* dan *flash point*, dimana solar murni memiliki hasil yang lebih tinggi dibandingkan campuran solar dengan butanol karena *flash point* yang lebih tinggi. Selain itu adanya kandungan oksigen dengan penambahan butanol juga berpengaruh dalam meningkatkan reaksi pembakaran, sehingga durasi pembakaran menjadi lebih singkat.

Tingkat kecerahan dari nyala api menunjukkan hasil kualitatif untuk menentukan adanya pembentukan jelaga dari hasil pembakaran. Tingkat kecerahan nyala api ditentukan dari terbentuknya jelaga dan temperatur pembakaran yang tinggi. Penambahan butanol pada solar menunjukkan visualisasi nyala api yang berbeda seperti yang ditunjukkan pada Gambar 5. – 10. Ketika awal nyala pembakaran pada detik 0.1 s pada Gambar 8. dan 9. menunjukkan nyala api berwarna biru pada visualisasi api. Nyala api berwarna biru menunjukkan pengaruh oksigen yang

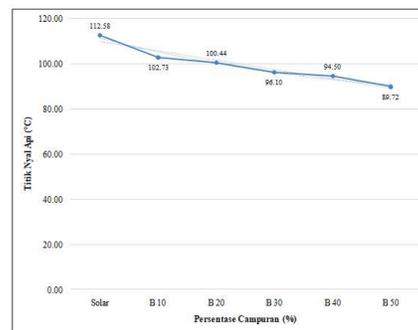
menunjukkan pembakaran yang tidak mengandung jelaga, dan reaksi pembakaran yang lebih sempurna.



Gambar 11. Perbandingan tinggi nyala api

Dapat dilihat dari Gambar 11. bahwa dengan adanya butanol, konsentrasi oksigen meningkat dan menyebabkan difusi uap bahan bakar pada bagian pangkal api sehingga menyebabkan ketinggian api yang lebih pendek dibandingkan solar murni. Selain itu penambahan alkohol juga menghasilkan ukuran api yang lebih kecil, karena mengurangi partikel yang menyumbang emisi sehingga jelaga tidak terbentuk terlalu banyak.

Titik nyala untuk setiap campuran butanol dan solar ditunjukkan pada grafik. Pengujian titik nyala dilakukan dengan memanaskan bahan bakar hingga menguap menggunakan droplet yang dipanaskan oleh *heater*. Uap yang dihasilkan kemudian menyala menjadi api. Suhu saat uap bereaksi dengan api disebut titik nyala. Titik nyala menunjukkan kemudahan bahan bakar untuk menguap. Semakin rendah titik nyala, semakin mudah bahan bakar menguap dan terbakar. Dengan kata lain, *Flash point* adalah temperatur terendah dimana uap yang dihasilkan bahan bakar bisa bercampur dengan udara dan membentuk campuran yang dapat terbakar sesaat saat diberi sumber panas.



Gambar 12. Grafik Temperatur Nyala Api

Seperti yang terlihat pada grafik 12., titik nyala terendah adalah titik nyala untuk campuran 50% butanol. Sedangkan, titik nyala tertinggi adalah titik nyala untuk campuran 10% butanol. Titik nyala adalah temperatur minimum yang dibutuhkan untuk menyalakan bahan bakar menjadi api. Pada grafik tersebut, menunjukkan titik nyala solar yaitu 112.58 °C, untuk titik nyala butanol 10% yaitu 102.73 °C, untuk titik nyala butanol 20% yaitu sebesar 100.44 °C, untuk butanol 30% yaitu 96.10 °C, untuk butanol 40% yaitu 94.50 °C, dan untuk butanol 50% yaitu

89.72 °C. Perbedaan temperatur nyala api (*Flash Point*) disebabkan oleh adanya penambahan zat aditif butanol pada bahan bakar solar.

#### 4. Kesimpulan

Campuran solar butanol yang telah diuji melalui penelitian eksperimen yang telah dilakukan, maka ditarik kesimpulan yaitu sebagai berikut:

Karakteristik visualisasi nyala api dari minyak solar murni dengan campuran solar butanol memiliki perbedaan karakteristik, dimana pembakaran droplet minyak solar murni memiliki nyala api yang lebih tinggi dan lebih lebar, sedangkan nyala api dari campuran solar butanol menghasilkan nyala api yang tinggi maksimumnya lebih rendah dari minyak solar murni dan nyala api dari campuran solar butanol lebih ramping dibandingkan minyak solar murni. *Ignition delay time* dari minyak solar murni lebih besar dibandingkan dengan *ignition delay time* dari campuran solar butanol. Secara berurutan, *Ignition Delay* dari yang terbesar yaitu solar murni, butanol 10%, butanol 30%, butanol 20%, butanol 40% dan butanol 50% yaitu memiliki nilai masing-masing 2.54 detik, 2.16 detik, 1.89 detik, 1.45 detik, 1.20 detik. Penambahan butanol mempengaruhi *ignition delay* dari minyak solar murni. Dimana, semakin banyak persentase butanol yang dicampurkan dengan minyak solar, maka *ignition delay time* cenderung akan semakin kecil.

Temperatur maksimum hasil pembakaran tertinggi hingga terendah berturut turut adalah campuran butanol 30%, 10%, 20%, solar murni, campuran butanol 50%, dan 40% dengan besar temperatur masing-masingnya yaitu 477.13°C, 474.15°C, 473.10°C, 471.64°C, 414.15°C, dan 404.32°C. Oleh karena itu, penambahan butanol pada bahan bakar solar mempengaruhi nilai temperatur maksimum pembakaran yang dihasilkan.

Saran yang diperoleh dari penelitian ini yaitu ruang bakar dirancang dengan dimensi yang lebih besar untuk memudahkan pemasangan penggaris dan kertas milimeter block dalam pengukuran dimensi nyala api, Gunakan thermocouple yang mampu merekam data dalam 0.2 detik agar pengukuran temperatur droplet selama periode pembakaran agar nilai temperatur lebih spesifik.

#### Daftar Rujukan

- [1] Kementerian ESDM, "Statistik Minyak dan Gas Bumi Semester | 2021," Direktorat Jenderal Minyak dan Gas Bumi, Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral. pp. 1–94, 2021.
- [2] T. D. Kuncoro, "Pengaruh Bahan Bakar Biodiesel Sawit Pada Performa Mesin Diesel Cat C15 Acert," 2019.
- [3] A. Demirbas, "Importance of biodiesel as transportation fuel," *Energy Policy*, vol. 35, no. 9, pp. 4661–4670, 2007, doi: 10.1016/j.enpol.2007.04.003.
- [4] R. I. Kusuma, J. P. Hadinoto, A. Ayucitra, and S. Ismadi, "Prosiding Seminar Nasional Fundamental dan Aplikasi Teknik Kimia 2011 Pe m an faatan Ze o lit Alam s e bagai Katalis Mu rah d alam Pro s e s Pe m bu atan Bio d i e s e l d ari Min yak Ke lap a Saw it," no. Xxx, 2011.
- [5] M. Berrios and R. L. Skelton, "Comparison of purification methods for biodiesel," *Chem. Eng. J.*, vol. 144, no. 3, pp. 459–465, 2008, doi: 10.1016/j.cej.2008.07.019.
- [6] S. Bahri La Muhaya, I. Wardana, and D. Widhiyanuriyawan, "Pembakaran Premixed Minyak Nabati pada Bunsen Burner Type Silinder," *J. Rekayasa Mesin*, vol. 6, no. 1, pp. 45–49, 2015, doi: 10.21776/ub.jrm.2015.006.01.7.
- [7] L. Fauziah, "Prarancangan Pabrik Biodiesel Dari Minyak Jarak Pagar Dan Metanol Kapasitas 10.000 Ton/Tahun," pp. 1–22, 2012, [Online]. Available: [http://eprints.ums.ac.id/id/eprint/18222%0Ahttp://eprints.ums.ac.id/18222/2/03\\_BAB\\_I.pdf](http://eprints.ums.ac.id/id/eprint/18222%0Ahttp://eprints.ums.ac.id/18222/2/03_BAB_I.pdf)
- [8] Syarifudin, H. N. Cahyo, A. Supriyadi, and Dairoh, "Pengaruh Variasi Volume Minyak Sawit Terhadap Sifat Kimia Dan Sifat Fisik Biodiesel Campuran Solar, Minyak Sawit-Alkohol (Metanol, Etanol,Butanol)," *J. Konversi*, vol. 8, no. 2, pp. 9–14, 2019.
- [9] V. Dwiwijayanto, N. Hamidi, and W. Wijayanti, "Karakteristik Pembakaran Droplet Biodiesel Kelapa Sawit Dengan Penambahan Katalis Bentonit," *Elem. J. Tek. Mesin*, vol. 6, no. 2, p. 51, 2019, [Online]. Available: <http://je.politala.ac.id/index.php/JE/article/view/111>
- [10] P. Aditya, "Pengujian Penggunaan Katlisator Broquet Terhadap Emisi Gas Buang Mesin Sepeda Motor 4 Langkah," 2012.
- [11] D. P. A. Rohmah, "Perbandingan Pengaruh Karbon Aktif dan Minyak Cengkeh Terhadap Reaksi Pembakaran Droplet dengan Bahan Bakar Minyak Jarak," 2018, [Online]. Available: [http://repository.ub.ac.id/162378/%0Ahttp://repository.ub.ac.id/162378/1/Della Putri Ayu Rohmah.pdf](http://repository.ub.ac.id/162378/%0Ahttp://repository.ub.ac.id/162378/1/Della%20Putri%20Ayu%20Rohmah.pdf)
- [12] Arwin, L. Yulianti, and A. S. Widodo, "Karakteristik Pembakaran Droplet Campuran Bahan Bakar Bensin-Etanol," *Semin. Nas. Inov. dan Apl. Teknol. Ind.* 2019, pp. 291–296, 2019.
- [13] Ni Komang Putri Mirah Berliandari, "The Impact of Noise on the Effectiveness of Flight Traffic Services. Vol. 1 No. 1 (2024): The 1st ICANEAT 2023
- [14] A Arwin; L Yuliati; AS Widodo, "Arwin.pdf." *Prosiding Seniati*, 2019, 2019.
- [15] B. R. Rukmana, "Universitas Indonesia Visualisasi Kecepatan Tinggi Nyala Api Difusi Tipe Swirl Pada Medan Aliran Berlawanan Dengan Rasio Gap Diameter Besar Program Studi Teknik Mesin Depok," 2012.
- [16] K. Aldi, "Pentingnya Perawatan Sistem Bahan Bakar Untuk Menunjang Stabilitas Kinerja Mesin Kapal Kn. Kumba pt. Citra bahari shipyard,," no. 2, 2021, doi: 10.16194/j.cnki.31-1059/g4.2011.07.016.
- [17] Arifin, "Reaksi Perpindahan Panas Solar," no. 2012, pp. 9–26, 2016.
- [18] D. Jaya, R. M. Litaay, R. A. Bagus, W. Widayati, and D. M. Syahri, "Pengaruh penambahan zat aditif diethyl ether terhadap pembuatan biodiesel (B50) Influence of diethyl ether on the mixture of biodiesel B50," vol. 19, no. 1, pp. 1–5, 2022,
- [19] Y. Kussuryani, S. Rani, "Produksi Biobutanol Sebagai Bahan Bakar Terbarukan Melalui Proses Fermentasi (Biobutanol Production As A Renewable Fuel By Fermentation Process)," *J. Publ. Miny. dan Gas Bumi*, vol. 49, no. 2, pp. 2–5, 2015.